

УДК 541(64+15):542.952

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ РАДИАЦИОННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ¹

© 1995 г. В. Я. Кабаков

*Институт физической химии Российской академии наук
117915 Москва, Ленинский пр., 31*

Поступила в редакцию 08.09.94 г.

В обзоре обобщены результаты работ по использованию радиационной прививочной полимеризации для модифицирования поверхности различных полимеров. Проанализированы перспективные направления работ по использованию радиационной прививочной полимеризации для модифицирования поверхности полимеров: регулирование гидрофильно-гидрофобных и адгезионных свойств поверхности, получение полимерных адсорбентов, модифицирование поверхности полимеров с целью их использования в медицине и биотехнологии, получение полимерных носителей каталитически активных центров. Основное внимание уделено работам, выполненным в последнее время. Рассмотрены основные представления о механизме формирования модифицированных поверхностных слоев и их структуре.

Проблемам радиационной прививочной полимеризации посвящен ряд монографий и обзоров [1 - 12]. Цель настоящего обзора – систематизация и обобщение сведений, касающихся использования радиационной прививочной полимеризации для модифицирования поверхностей различных полимеров, в частности, для создания слоев толщиной в несколько микрон. Анализ показывает, что именно с использованием данного метода достигнуты наибольшие успехи при таком модифицировании поверхности полимерных материалов.

Радиационная прививочная полимеризация осуществляется за счет активных центров (радикалов или ионов), возникающих в полимерной подложке под действием ионизирующих излучений. Она может осуществляться прямым методом или по методу постэффекта из жидкой или газовой фазы мономера. В радиационной прививочной полимеризации существенную роль играют процессы сорбции и диффузии мономера в полимерные подложки. Диффузионная теория прививочной полимеризации развита в работах [13 - 20]. Модели для расчета профиля привитой фазы, учитывающие изменение граничных условий в процессе прививочной полимеризации, приведены в работах [18 - 21]. В рамках модельных представлений проанализированы и обсуждены условия, обеспечивающие формирование диффузионных и “ступенчатых” профилей привитого полимера, образующихся в полимере-матрице [19 - 21].

Установлено, что при подаче мономеров из газовой фазы на ПП-волокна имеет место поверхностная прививка целого ряда мономеров по методу постэффекта даже в условиях, когда скорость сорбции сравнима со скоростью полимеризации. Это объясняется значительным изменением сорбционных и диффузионных характеристик в процессе самой прививки [22]. Существует корреляция между распределением привитой фазы по сечению полимера и константой скорости обрыва растущей цепи [22]. Вместе с тем необходимо отметить, что ввиду сложности процесса прививочной полимеризации и значительного количества факторов, которые на него влияют, любые модели весьма приближенно описывают процесс. Как правило, для получения поверхностной прививки необходимо использовать повышенные мощности дозы. В случае жидкофазной прививочной полимеризации факторами, способствующими поверхностной прививке, являются понижение температуры (уменьшение диффузии мономера), использование поверхностно-активных веществ и оптимальной концентрации ингибиторов гомополимеризации (высокая концентрация ингибиторов обедняет поверхностный слой привитыми цепями). Газофазная прививочная полимеризация как правило является поверхностной.

Мировой опыт по использованию радиационной прививочной полимеризации для модифицирования поверхности полимерных материалов указывает на следующие преимущества этого метода.

1. Высокая универсальность метода, поскольку активные центры полимеризации под действием

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 94-03-09533).

излучения возникают практически в полимерах любой химической природы.

2. Возможность модифицировать полимерные изделия любой конфигурации и формы (пленки, волокна, порошки и т.п.).

3. Высокие скорости иницирования, недостижимые при обычном, химическом иницировании, что дает возможность проводить процессы модифицирования с достаточно большими скоростями.

4. Возможность проведения процессов в широком диапазоне температур. В ряде случаев существенно важным моментом является возможность проведения прививки при пониженных температурах.

5. Сравнительно простое регулирование скоростей процессов полимеризации путем изменения мощности дозы.

6. Радиационная прививочная полимеризация не требует использования инициаторов, что обеспечивает чистоту продукта. В ряде случаев это имеет важное значение (медицинские полимеры и др.).

Недостатком радиационной прививочной полимеризации является необходимость использования дорогостоящих установок ионизирующего излучения главным образом Co^{60} и электронных ускорителей. Необходимо отметить, что дозы облучения, используемые для проведения прививочной полимеризации, небольшие и, как правило, не превышают 50 - 100 кГр. Во многих случаях радиационная прививочная полимеризация требует доз не более 3 - 10 кГр.

В настоящее время модифицирование поверхности полимеров путем радиационной прививочной полимеризации наиболее интенсивно развивается в следующих направлениях: модифицирование полимерных мембран, регулирование гидрофильно-гидрофобных свойств полимерных поверхностей, повышение адгезии полимеров к металлам, модифицирование полимеров с целью их использования в медицине и биотехнологии, получение полимерных адсорбентов и полимерных носителей каталитически активных центров.

В настоящей работе не обсуждается использование радиационной прививочной полимеризации для модифицирования поверхности полимерных мембран, поскольку эта проблема недавно была рассмотрена в обзоре [6]. Есть основание полагать, что в ближайшем будущем сфера использования радиационной прививочной полимеризации расширится. Здесь необходимо отметить перспективность ее использования для создания биосенсоров с целью решения аналитических проблем в медицине и экологии.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОФИЛЬНО-ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ И ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛАМ

Изменение гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности различных полимеров в достаточно широких пределах является весьма эффективным применением радиационной прививочной полимеризации. При рассмотрении этой проблемы необходимо прежде всего отметить, что модифицированная поверхность как правило имеет достаточно сложный, гетерогенный характер, что обусловлено неравномерностями в образовании активных центров на подложке (кристаллические и аморфные области), различиями в скоростях диффузии мономера в разных микрообластях полимера, прививкой на собственные цепи привитых макромолекул и захватом макрорадикалов из фазы мономера в процессе прививочной полимеризации [23 - 27]. Микрогетерогенность объясняется также эффектом сжатия жестких цепей привитого полимера в матрице из более мягкого полимера [28, 30]. Начальной стадией прививочной полимеризации на поверхности является образование зародышей микрофазы, которые могут представлять собой единичные макромолекулы, далее зародыши разрастаются, постепенно сливаются и образуется сплошная дефектная пленка на поверхности [23, 24, 29 - 32]. Существует корреляция между механическими напряжениями в полимерной матрице и локализацией привитой фазы [33].

Модифицированные привитые слои на поверхности термодинамически неравновесны и имеют структуру, состоящую из собственно привитого слоя, граничного слоя и гомополимера [34 - 36]. При прививке из паровой фазы мономера в условиях повышенных мощностей доз на поверхности полимеров образуются "запорные" слои, диффузионные и транспортные свойства которых можно регулировать путем обработки подходящими растворителями или отжигом [37]. Наиболее подробно это было изучено на примере радиационно-модифицированного ПЭ с привитой ПАК. Обработка различными растворителями (вода, этанол, ДМФА, ацетон и диэтиловый эфир) ведет к изменению конфигураций привитых цепей ПАК, что существенно влияет на диффузию и сорбцию полярных (ацетон) и неполярных (гептан) веществ [38]. Обработка различными растворителями в сочетании с термообработкой привитых слоев полиакрилонитрила на различных материалах также приводит к существенному изменению их адсорбционных и транспортных свойств [39, 40].

Прививка ПАК существенно увеличивает гидрофильные свойства полиолефинов. Краевые углы смачивания снижаются на $20^\circ - 30^\circ$, значительно возрастает свободная поверхностная энергия в основном за счет полярной составляющей [41]. При небольших процентах прививки имеет место чередование гидрофильных и гидрофобных участков, но постепенно по мере роста толщины привитого слоя происходит стабилизация гидрофильных свойств поверхности [24, 41, 42]. Нейтрализация привитой ПАК щелочью или введение катиона NH_4^+ существенно увеличивает гидрофильные свойства поверхности [43]. Гидрофобизация поверхности достигается радиационной прививкой фторалкилакрилатов. Степень гидрофобизации существенно зависит от природы фторалкильной группы [44, 45].

В работах [46, 47] предложены методы регулирования гидрофильных свойств полимерных поверхностей путем образования на них полиэлектролитных комплексов (ПЭК). Первой стадией в образовании ПЭК является радиационная прививка на гидрофобные поверхности ионогенных полимеров (ПАК, ПМАК и т.д.) с последующим формированием ПЭК. Поверхность полимера с сформированной на ней ПАК является микрогетерогенной с чередованием гидрофильных и гидрофобных областей. Формированием на радиационно-привитых поверхностях ПЭК можно в достаточно широких пределах изменять заряд поверхности и гидрофильные свойства.

Гидрофилизация полиуретанов путем радиационной прививки гидроксиэтилметакрилата, акриламида и 2,3-эпоксипропилметакрилата с последующим замещением эпоксигрупп изучена в работе [48]. Существенное значение имеет гидрофилизация полиамидных материалов [49].

В работе [50] приведены данные по использованию метода ЭСХА для анализа влияния гидратации и дегидратации на состояние привитых цепей в тонком слое ($\sim 50 \text{ \AA}$) на поверхности полимеров. Состояние и концентрация привитых цепей на поверхности полимеров зависят от степени гидратации. Например, концентрация привитых цепей на поверхности ряда полимеров (силиконы, полиуретаны и т.д.) уменьшается после дегидратации, так как часть цепей погружается внутрь пленки. Эти эффекты зависят от природы полимера и привитых цепей. Часто они идут во времени. В ряде случаев после дегидратации имеет место кластерообразование привитых цепей. Фазовое состояние привитого компонента зависит от природы полимера-матрицы. Например, в случае фторсодержащих полимеров привитая ПАК образует отдельную микрофазу [51].

Радиационная прививочная полимеризация используется на практике для повышения гидрофильности контактных глазных линз из кремний-

органических полимеров. Указанные полимеры обладают высокой кислородной проницаемостью, но являются гидрофобными материалами. Для гидрофилизации контактных глазных линз обычно используется N-винилпирролидон [52 - 54].

В работах [55 - 58] описано использование радиационной прививочной полимеризации для гидрофилизации поверхности полимерных ядерных фильтров, полученных путем бомбардировки ПЭТФ тяжелыми ионами. Модифицирование ядерных фильтров прививкой гидрофильных мономеров (акриловая кислота, N-винилпирролидон и т.д.) позволяет эффективно регулировать их разделительные характеристики по отношению к водорастворимым органическим веществам (белки и другие вещества) без существенного изменения фильтрующей способности.

В целом гидрофильно-гидрофобные свойства различных полимеров можно менять в широких пределах путем радиационной прививочной полимеризации. Для гидрофилизации поверхности обычно используют N-винилпирролидон, акриламид или акриловую кислоту. Степень гидрофильности сильно зависит от способа проведения прививочной полимеризации (концентрация привитых цепей на поверхности) и достигает предела при определенной величине прививки (полное покрытие поверхности).

Непосредственно с проблемой изменения поверхностных свойств полимеров связано использование радиационной прививочной полимеризации для повышения адгезии полимеров к металлам. Исторически это было первым крупномасштабным применением радиационной прививочной полимеризации. В 60-х годах американская компания "Dow-Chemical" выпустила модифицированный ПЭНП с радиационно привитой ПАК, обладающий высокой адгезией к металлам (главным образом к алюминию) [59]. Впоследствии были разработаны промышленные методы радиационной прививки акриловой кислоты на порошки полиолефинов. Эти порошки используются для получения покрытий на металлах [60]. Для повышения адгезии полимеров к металлам необходимо создавать на поверхности полимеров адгезионно-активный слой, который должен включать в себя достаточно полярные функциональные группы (карбоксильные, эпоксидные и т.д.), обладая определенными структурно-механическими свойствами и иметь оптимальную толщину. Радиационная прививка глицидилметакрилата (мономер содержит эпоксидную группу) значительно повышает адгезию модифицированных полимеров к металлам при склеивании эпоксидным клеем [61 - 63]. Существенное значение имеют условия проведения прививочной полимеризации [61, 62]. Изучено влияние различных функциональных групп, полученных путем

полимераналогичных превращений эпоксидной группы, на адгезию модифицированных ПЭ-пленок к металлам [63]. Радиационная прививка третичных акриламидов повышает адгезию к соединениям, содержащим карбоксильную группу (различные клеи) [64]. В работах [35, 65] установлено, что при склеивании радиационно модифицированной пленки ПЭ (прививка полиметилакрилата) эпоксидным адгезивом наилучшие результаты получаются в случае образования гомополимерного слоя в условиях высокой мощности дозы (электронный ускоритель).

При радиационном модифицировании полимерных волокон величина адгезии как правило достигает максимума при определенной степени прививки [66]. Модифицирование поверхности стекловолокон путем прививки акриловой кислоты существенно улучшает физико-механические показатели композитов с этим волокном [67]. Радиационная прививка 4-винилпиридина и N-винилпирролидона на поверхность ПЭ-пленки способствует ее последующей металлизации [68]. Подробно изучен процесс получения ПЭ адгезионно-активной пленки путем прививки акриловой кислоты из паровой фазы [20, 26, 70]. Мономерная композиция наносилась на движущуюся ПЭ-пленку с последующим отверждением под действием электронного пучка [20, 69]. Покрытие из ПАК имеет пористую структуру. Введение сшивающего агента стабилизирует конформационное состояние привитых цепей и пористую структуру слоя [71]. Подбирая условия прививки ПАК, вводя добавки, можно регулировать адгезионные свойства поверхностного слоя. Радиационная полимеризация использовалась для получения сополимеров имидов малеиновой кислоты с эпоксидными смолами [72] и полиорганосиланами [73, 74]. На основе этих материалов получены покрытия с высокой термо-, хемо- и радиационной стойкостью [73, 74]. С помощью радиационной прививочной полимеризации можно существенно повысить маслостойкость термоэластопластов [75, 76].

В целом радиационная прививочная полимеризация является эффективным методом регулирования адгезионных свойств полимеров. При этом необходимо учитывать существенную зависимость адгезионных свойств поверхности не только от природы используемого мономера, но и от способа проведения прививочной полимеризации (мощность дозы, добавки и т.п.). Выбор метода модифицирования зависит также от способа склеивания (с использованием клеев или горячего прессования).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ И БИОТЕХНОЛОГИИ

Радиационная прививочная полимеризация используется для получения гемосовместимых полимерных материалов, а также для иммобилизации биологически активных веществ (лекарства, ферменты и т.п.) в поверхностные слои различных полимеров. Такие материалы имеют важное значение для медицины и биотехнологии.

Получение полимерных материалов, длительное время работающих в контакте с кровью, является весьма сложной задачей из-за тромбообразования на поверхности полимеров. Рассмотрению механизмов тромбообразования посвящен ряд монографий и обзоров [77 - 89]. К сожалению, существующие концепции тромбообразования на полимерных поверхностях не дают достаточно четких и конкретных указаний по способам модифицирования полимеров для предотвращения тромбообразования. Допускается, что для уменьшения тромбообразования необходимы полимерные поверхности с минимальной адгезией и повреждаемостью тромбоцитов крови. Указывается, что очень важным является создание полимерных поверхностей с избирательной сорбцией белков из крови (преимущественно сорбироваться должен альбумин) и минимальным изменением на поверхности конформации белковой молекулы. В других работах допускается, что критерий гемосовместимости – определенное соотношение скорости сорбции и десорбции белковых молекул. Признано, что первой стадией при соприкосновении полимеров с кровью является быстрая сорбция белков, а далее все процессы разыгрываются уже на полимерной поверхности с сорбированными белковыми молекулами.

Преимущество радиационной прививочной полимеризации для получения гемосовместимых поверхностей – это возможность получения прочно связанного модифицированного слоя регулируемой толщины, который не отмывается при длительных контактах с кровью. Одновременно можно проводить радиационную стерилизацию изделий.

Большое число работ было выполнено по использованию радиационной прививочной полимеризации для получения полимерных материалов с гидрогелевыми поверхностями. Считается, что гидрогелевые поверхности близки к среде живого организма. Такие поверхности получались путем радиационной прививки гидрофильных мономеров к различным полимерам. В качестве полимеров в основном использовались полиолефины [90 - 99], кремнийсодержащие

полимеры (ПДМС, силистик) [100 - 104] и полиуретаны [105 - 110], реже фторсодержащие полимеры [111 - 114]. В качестве мономеров в основном применялись гидроксиэтилметакрилат [95, 101, 105 - 107, 115 - 120], N-винилпирролидон [93, 102 - 104, 108 - 110, 113, 121 - 127], акриламид и его производные [91, 91, 94, 96, 98 - 100, 107, 111, 114, 115, 128 - 133]. Для этих целей представляет интерес также использование полимеров с гидразидными группами [134]. Радиационная прививка чаще всего проводилась прямым методом из водной или водно-спиртовой среды. В работе [32] обобщены результаты работ по изучению гемосовместимости полимеров с гидрогелевыми покрытиями, полученными методом радиационной прививочной полимеризации. Эксперименты проводились *in vitro* и *in vivo*. Опыты показали, что на гидрогелевых поверхностях имеет место тромбообразование, но связь тромбов с поверхностью слабая. С повышением содержания воды адсорбция белковых молекул на гидрогелевых поверхностях уменьшается и молекулы белка легче десорбируются. Важным является чистота мономера, который используется для получения гидрогелевых поверхностей. Свойства воды в радиационно-привитых гидрогелях отличаются от обычной воды [135], что, возможно, и есть одна из причин тромбообразования. В случае совместной прививки этилметакрилата и гидроксиэтилметакрилата (гидрофобный и гидрофильный мономеры) получены модифицированные поверхности с минимальной адгезией тромбоцитов при содержании этилметакрилата в сополимере ~25%. Выдвинута гипотеза, что для хорошей гемосовместимости необходимо определенное сочетание гидрофильных и гидрофобных участков [32]. В то же время в ряде работ при испытаниях *in vivo* установлено, что для хорошей гемосовместимости необходима высокая степень прививки (~25 - 30%) N-винилпирролидона [103, 104] или акриламида [91, 114]; в этом случае поверхностное натяжение близко к нулю. В случае прививки гидроксиэтилметакрилата на полиуретаны адсорбция белков минимальна при определенной толщине привитого слоя (~5 мг/см²) [106].

Микрогетерогенность поверхности оказывает влияние на гемосовместимость [120]. Изменением мощности дозы можно регулировать в определенных пределах шероховатость поверхности. Например, при прививке N, N-диметакриламида на фторсодержащие полимеры гемосовместимость выше при использовании низких мощностей доз (гладкая поверхность) [114].

В целом для повышения гемосовместимости перспективные мономеры – акриламид и его производные.

Полимеры с гидрогелевыми поверхностями являются тромбоантиадгезивными, т.е. тромбы

на них образуются, но слабо прикрепляются. Для получения гемосовместимых гидрогелевых поверхностей необходимо вводить в них физиологически активные вещества (ФАВ), влияющие на тромбообразование на поверхности. Для введения ФАВ (антикоагулянты крови, ферменты и т.п.) необходимо получать гидрогелевые поверхности с активными функциональными группами ($-\text{NH}_2$,

$-\text{OH}$, $\text{O}=\text{C}-\text{H}$, $\text{O}=\text{C}-\text{Cl}$, $\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2$ и т.д.). Размер и природа (ковалентная или ионная) связывающего мостика между функциональной группой и ФАВ, а также микроокружение ФАВ в гидрогеле оказывают существенное влияние на активность ФАВ [136].

В случае групп NH_2 или $\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2$ прикрепление ФАВ обычно осуществляют с помощью глутарового диальдегида [137 - 139], а при использовании групп OH используют карбодимидный метод [125, 139, 140 - 142]. Различные способы связывания ФАВ с радиационно-привитыми полимерами описаны в обзорах [138, 142]. Существенно важным является использование “руки” для прикрепления ФАВ к модифицированным полимерам. Наличие “руки” между функциональной группой и ФАВ позволяет значительно повысить активность ФАВ [138, 140].

Оригинальные методы повышения гемосовместимости полимеров с использованием радиационной прививочной полимеризации разработаны Н.А. Платэ с сотр. [143 - 146]. Один из методов заключается в радиационной прививке на поверхность полимеров хлорангидридов акриловых кислот с последующим введением ФАВ (гепарин, ферменты) по реакции ацилирования аминогруппы ФАВ [143, 147, 148]. Весьма активные хлорангидридные группы на поверхности полимеров могут быть получены обработкой тионилхлоридом радиационно-модифицированных полимеров с привитой полиакриловой кислотой [149]. Другой способ заключается в радиационной прививке физиологически активных макромономеров в присутствии гидрофильных мономеров и сшивающего агента [143]. Макромомеры получали введением активной двойной связи в макромолекулы ФАВ (гепарин, альбумин и трипсин) и ацилированием ФАВ (аминогруппа) хлорангидридами акриловых кислот [150 - 153]. Получены полимеры с гидрогелевым слоем, внутри которого иммобилизованы гепарин и трипсин. Изучена тромборезистентность таких материалов в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. Повышенная тромборезистентность указанных материалов объясняется тем, что с гепарином связывается фибриноген, который лизируется трипсином [85, 154, 155]. В ряде работ радиационная прививочная полимеризация

использовалась для ковалентного связывания гепарина [140, 142, 156, 157]. По данным работы [158], для тромбозоустойчивых материалов, содержащих гепарин, необходима определенная скорость вымывания его с поверхности полимера в процессе эксплуатации. Получены модифицированные полимеры, способные избирательно адсорбировать гепарин из кровотока [159].

Другим достаточно известным способом введения ФАВ в поверхностные слои полимеров за счет ковалентного связывания является использование для этой цели альдегидных групп, что достигается путем радиационной прививочной полимеризации акролеина [160 - 166].

Разработаны методы модифицирования поверхности различных полимеров путем радиационной прививочной полимеризации мономеров, содержащих нитрогруппу, последняя восстанавливалась до аминогруппы и ФАВ связывались с аминогруппой различными методами [167 - 169].

Для присоединения ФАВ к полимерам за счет ионных связей обычно используется радиационная прививочная полимеризация аминоксодержащих мономеров с последующей их кватернизацией [142, 156]. Гепарин, например, присоединяется к положительно заряженному иону аммония [170 - 172]. В случае ионного связывания физиологическая активность гепарина оказывается высокой за счет частичного вымывания.

Другим принципом повышения гемосовместимости полимеров с использованием радиационной прививочной полимеризации является получение полимеров с гепариноподобной поверхностью и отрицательным зарядом. Обычно это достигается путем прививки акриловых кислот с последующей частичной нейтрализацией [173 - 175] или введением в привитую поверхность сульфогрупп [176 - 178].

Радиационная прививочная полимеризация используется для получения полимеров с углеродной поверхностью, обладающей высокой гемосовместимостью [89, 179, 180]. Установлено, что радиационно-привитые полифосфазены являются перспективными биоматериалами [181]. Различные аспекты использования радиационной прививочной полимеризации для иммобилизации ФАВ рассмотрены в обзоре [182].

Радиационная прививочная полимеризация используется также для иммобилизации лекарственных препаратов и ферментов. Разработан полимерный ферментный реактор с иммобилизованной ковалентными связями аспарагиназой, который используется для лечения острой лимфоцитарной лейкемии [183, 184]. Изучена иммобилизация различных ферментов и их активность с использованием радиационной прививки акриловых кислот или гидроксиэтилметакрилата [185 - 187]. Наиболее подробно исследована иммобилизация и реак-

ционная способность α -химотрипсина ковалентно-иммобилизованного на поверхность радиационно-привитых полимеров [188, 189]. Активность иммобилизованных ферментов существенно зависит от природы мономера, величины прививки, заряда гидрогелевой поверхности и микроокружения фермента.

Получены шовные медицинские нити на основе ПП, модифицированного радиационной прививкой гидроксиэтилметакрилата [190].

Другим применением радиационной прививочной полимеризации является получение модифицированных полимерных материалов для культивирования микробных клеток [191, 192]. Можно регулировать скорость роста клеток подбором гидрофильного мономера [191]. Получены термочувствительные среды для регенерации и культивирования клеток тканей [192]. Модифицированные полимерные материалы, полученные прививкой N-изопропилакриламида, могут менять свои гидрофильные и гидрофобные свойства в зависимости от температуры, что позволяет регулировать адгезию и жизнеспособность культуры [130, 192].

Радиационная прививочная полимеризация использовалась при получении полимерных матриц для синтеза олигонуклеотидов с большим выходом (прививка ПС к ПТФЭ) [193].

Медицинские изделия из полимерных материалов, модифицированные с помощью радиационной прививочной полимеризации [194 - 196], используются в аппаратах для перекачки крови и ее компонентов [194]. В США проведены широкие исследования по использованию радиационной прививочной полимеризации для получения различных медицинских полимерных материалов: сосудистых протезов, внутривенных катетеров, имплантатов, тканезащитных противовоспалительных материалов и материалов для офтальмологии. В основном это полимеры с нанесенным гидрогелевым покрытием. Данные материалы получили название "гидрографт" [195]. Предполагается их использование в различных областях медицины.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ АДСОРБЕНТОВ

Большие успехи достигнуты по использованию радиационной прививочной полимеризации для получения волокнистых адсорбентов главным образом на основе ПП-волокон. В основном исследовалась радиационная прививочная полимеризация акриловой и метакриловой кислот [197 - 206], акрилонитрила [207 - 214], винилпиридинов [215 - 217] и стирола [190, 206, 217, 218]. Прививка акриловых и метакриловых кислот на

ПП-волокна изучена наиболее подробно. Для проведения прививочной полимеризации использовался прямой метод [199, 201, 202, 205] и метод с предоблучением [198, 219, 220]. Практически во всех случаях прививка осуществлялась из водных растворов в присутствии ингибиторов гомополимеризации (ионы Fe^{2+} , Cu^{2+} , различные соединения железа). Анализ кинетических закономерностей и влияние восстановителей (соли железа) на радиационную прививочную полимеризацию акриловой кислоты на твердую пероксидированную ПП-матрицу дан в работах [198, 219, 220]. Восстановители, являющиеся одновременно и ингибиторами гомополимеризации, влияют на ММ привитых цепей. Важный фактор – диффузия восстановителя в полимерную матрицу. Подробно изучено влияние условий облучения на содержание гидропероксидных групп в ПП-волокне и скорость постпрививочной полимеризации акриловой кислоты [198].

В результате этих исследований получены волокнистые катиониты с высокой осмотической и химической стабильностью и обменной емкостью 7.0 - 7.5 мг-экв/г. Изучены кислотно-основные и сорбционные свойства модифицированных ПП-волокон. Показана перспективность их применения для удаления из газовых потоков аммиака при его содержании 5 - 200 мг/м³.

Японская компания "EBARA Corporation" наладила промышленный выпуск полиолефиновых волокон с привитой ПАК (метод предоблучения на электронном ускорителе; доза ~200 кГр, прививка из жидкой фазы) [221]. Радиационная прививка стирола с добавкой дивинилбензола к ПП-волокнам с последующим сульфированием или фосфорилированием привитых сополимеров исследована в работах [218, 206]. В результате получены иониты со статической обменной емкостью 0.9 - 1.2 ммоль/г [206]. Получение модифицированных ПП-волокон с привитым ПС и последующим его сульфированием внедрено на фирме "EBARA Corporation" (Япония).

Модифицированные полиолефиновые волокна с различными функциональными группами (карбоксильные, сульфогруппы и т.д.) используются главным образом для улавливания аммиака [221].

Другое направление – использование радиационной прививочной полимеризации полимеров для получения волокнистых сорбентов для извлечения ионов металлов из водных растворов. Сорбенты получали путем прививки акрилонитрила на полимерные волокна (в основном полиолефиновые) с последующей модификацией поверхности за счет реакции нитрильных групп с гидроксиламино или гидроокисью натрия [207 - 211, 222]. Прививка осуществлялась по методу предоблучения в основном из водно-спиртовых растворов. Подробно изучено влияние природы спирта на

прививку [207, 208]. Особое значение с точки зрения сорбционных свойств имеет радиационная прививка акрилонитрила на полые полиолефиновые волокна [205 - 207]. В работе [222] подробно изучена радиационная прививка акрилонитрила на разнообразные волокна по методу предоблучения на электронном ускорителе. Процесс амидоксимирования (реакция нитрильной группы с гидроксиламино или NaOH) изучен методом ЯМР [223, 224]. Установлено, что функциональные группы, образующиеся при амидоксимировании нитрильной группы, активно связывают различные ионы металлов из водных растворов. Ответственной группой за связывание является циклическая или амиддиоксимная [223]. Особенно подробно исследовано извлечение уранил-ионов (UO_2^{2+}) из морской воды [221]. Успешно проводятся испытания такого типа волокнистых материалов [221, 225], подробно изучены их структура и свойства.

Установлено каталитическое влияние соединений меди на радиационную прививку некоторых мономеров к ПП-волокнам [226]. Целый ряд работ посвящен модифицированию ПП-волокон путем радиационной прививочной полимеризации из газовой фазы мономера [7]. В этом случае существенную роль играет сорбция мономера [7, 227]. Привитая фаза локализуется, как правило, в межфебрилярном пространстве [213]. Характерная особенность газофазной прививки на волокна – достаточно четкое проявление матричных эффектов, связанных с влиянием полимерной матрицы на структуру и состав привитых цепей [7]. Например, при газофазной прививке на вытянутое полиамидное волокно на состав привитого сополимера влияет чередование фрагментов полиамидной цепи (матричный синтез) [7, 228].

В целом использование радиационной прививочной полимеризации для получения волокнистых адсорбентов с разнообразными функциональными группами является весьма перспективным направлением и исследования в этой области, по всей вероятности, будут значительно расширены в ближайшем будущем.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ, МЕТОДОМ РАДИАЦИОННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Полимерные материалы, содержащие в поверхностных слоях соединения металлов, представляют интерес в первую очередь как носители каталитически активных центров. Такие катализаторы в ряде случаев обладают высокой активностью и длительным сроком работы. Способы получения таких катализаторов, а также полимеризация

металлосодержащих мономеров описаны в монографиях [229 - 233].

Существуют два пути получения комплексов металлов на поверхности различных полимеров методом радиационной прививочной полимеризации: радиационная прививка мономеров с функциональными группами, способными реагировать с соединениями металлов (создание функционального покрова на поверхности) и радиационная прививка металлосодержащих мономеров. В первом случае прививочная полимеризация обычно проводится из газовой фазы на поверхность порошкообразных полимеров (ПЭ, ПП, ПС, каучуки и т.д.). В качестве мономеров использовались мономеры аллилового (аллиловый спирт, аллил-, диаллиламины и диаллилсульфиды) и винилового типов (акриловая и метакриловая кислоты, их метиловые эфиры, метилвинилкетон, 2- и 4-винилпиридины, акрилонитрил и акриламид) [234, 235]. Радиационно-химический выход прививки аллиловых мономеров составляет 10 - 20 молей/100 эВ и мало зависит от мощности дозы, что свидетельствует об отсутствии квадратичного обрыва цепей. Обрыв цепей в случае полимеризации мономеров аллилового ряда происходит за счет деградации растущей цепи [236]. В результате прививки получают модифицированные порошки полимеров с "протонолитическим" покровом, способным к фиксации соединений металлов, склонных к реакциям "протолиза", а также лигандному обмену ($TiCl_4$, $Ti(OR)_4$, VCl_4 , $VOCl_3$ и другие) [237]. Компоненты каталитических циглеровских систем ($TiCl_4$, VCl_4 , $VOCl_3$, $MoCl_5$ и т.д.) могут быть закреплены на полимерных носителях, включающих в функциональный покров соединения с электронодонорной группой ($-C=O$, $-C\equiv N$ и др.). Эти носители могут быть получены, например, путем радиационной прививки 4-винилпиридина.

Катализаторы, полученные таким путем, отличаются высокой активностью и стабильным характером полимеризации этилена при сравнительно высоких ($70^\circ C$) температурах. Значительный эффект повышения каталитической активности (в 100 - 150 раз) наблюдается при гетерогенизации системы на основе $Ti(OC_4H_9)_4$ на носителях, полученных радиационной прививкой аллиловых мономеров на ПЭ. Природа функциональных групп оказывает существенное влияние на формирование активных центров и кинетику каталитической полимеризации этилена [233, 234]. Каталитически активные центры на основе соединений родия и иридия получены путем радиационной прививочной полимеризации винилдифенилфосфина с последующей обработкой поверхности модифицированного полимера соединениями названных выше металлов [238].

В работах [239 - 241] исследована радиационная прививочная полимеризация на глобулы ПП фосфорсодержащих мономеров и 4-винилпиридина. Эти модифицированные полимеры использовались в качестве носителей каталитически активных центров на основе соединений кобальта и родия. В работе [242] описаны катализаторы окисления, полученные радиационной прививкой хлорметилстирола, с последующим присоединением кобальта-протопорфирина. Катализаторы фотохимического разложения воды получены путем модифицирования поверхности полиамидной ткани радиационной прививкой акриламида с последующей обработкой соединениями титана. Затем соединения титана превращались в кристаллический TiO_2 , который оставался импрегнированным на поверхности ткани; импрегнированные кристаллы TiO_2 платинировались. Модифицированный таким образом полимерный материал каталитически активен в разложении воды под действием солнечного света [243].

Другим способом получения модифицированных полимеров, содержащих комплексы металлов на поверхности, является радиационная прививка металлосодержащих мономеров. Исследовалась пострадиационная прививочная полимеризация аллилового спирта в присутствии солей $Co(III)$, $Ni(III)$, $Cu(II)$, $Cr(III)$ на порошок ПЭ. Эффективно идет прививка только в случае соединений $Co(II)$ [244]. В работе [245] изучена радиационная прививочная полимеризация акрилатов $Co(II)$, $Ni(II)$ и $Cu(II)$ на порошок ПЭ. Скорость прививки существенно зависит от природы металла, наибольшая скорость у акрилата $Co(II)$. Характерной чертой прививки акрилатов металлов является достаточно высокая скорость прививки в начальный период, а затем она значительно замедляется. Обрыв цепи носит мономолекулярный характер. В модифицированных полимерах ПЭ содержится до 1.4 мас. % металла, который сосредоточен на поверхности полимера. В работе [246] изучалась радиационная прививочная полимеризация комплексов металлов с акриламидом и были получены модифицированные полимеры ПЭ различного цвета, содержащие на поверхности комплексы Co и Ni . Акриламидный комплекс $CuCl_2$ не прививается. Данные по прививке металлохелатных мономеров немногочисленны и обобщены в обзоре [247]. Процесс прививочной полимеризации металлохелатных мономеров протекает с участием только части виниловых групп, присутствующих в металлохелатном мономере. В процессе прививки валентное состояние и пространственное окружение иона металла не изменяются. В ряде случаев привитые сополимеры с металлохелатами на поверхности проявляют высокую каталитическую активность [248].

Таким образом, радиационная прививочная полимеризация является достаточно эффективным методом получения различных металло-содержащих полимерных материалов, однако исследований в данной области выполнено недостаточно. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят получать различные полимерные материалы (волокна, порошки, пленки и т.д.) с достаточно высокими каталитическими свойствами.

Радиационная прививочная полимеризация является эффективным и универсальным методом модифицирования поверхности полимеров любой химической природы. За последние годы достигнут существенный прогресс в понимании механизмов формирования и структуры поверхностного модифицированного слоя и влияния на этот процесс кинетических и диффузионных факторов, связанных с условиями проведения прививочной полимеризации. Поверхностный модифицированный слой является сложной, гетерогенной и в ряде случаев неравновесной системой. Очень мало работ по микроструктуре и молекулярно-массовому распределению привитых цепей.

Серьезные успехи достигнуты по использованию радиационной прививочной полимеризации для получения полимеров с гидрогелевыми покрытиями с включением ФАВ. Эти материалы используются в медицине и биотехнологии.

Активно развиваются работы по применению радиационной прививочной полимеризации для получения различных сорбентов главным образом на основе полиолефиновых волокон. После написания данного обзора появилась работа по использованию нетоксичных адсорбентов, полученных путем прививки ПАК на ПЭ, для адсорбции противоопухолевых препаратов. Адсорбенты используются для детоксикации онкологических больных [249].

Весьма перспективно также использование радиационной прививочной полимеризации для формирования поверхностных слоев на различных полимерных мембранах с целью повышения их селективности.

Радиационная прививочная полимеризация используется для получения полимерных носителей каталитически активных центров. Изучается радиационная прививка металло-содержащих мономеров.

Очень важным направлением в радиационной прививочной полимеризации является модифицирование поверхности неорганических веществ. Эта проблема рассмотрена в обобщающих работах [51, 250].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chapiro A. Radiation Chemistry of Polymeric Systems. New York: Wiley, 1962.

2. Kabanov V.Ya. // Radiat. Phys. Chem. 1989. V. 33. № 1. P. 51.
3. Kabanov V.Ya., Aliev R.E., Kudryavtsev Val.N. // Radiat. Phys. Chem. 1991. V. 37. № 2. P. 175.
4. Kabanov V.Ya., Sidorova L.P., Kudryavtsev Val. N. // Radiat. Phys. Chem. 1983. V. 22. № 3 - 5. P. 603.
5. Цетлин Б.Л., Бабкин И.Ю., Кабанов В.Я., Пономарев А.Н. // Химия высоких энергий. 1985. Т. 19. № 4. С. 303.
6. Павлов С.А., Телешов Э.Н. // Высокомолек. соед. А. 1991. Т. 33. № 2. С. 1365.
7. Цетлин Б.Л., Власов А.В., Бабкин И.Ю. // Радиационная химия полимеров / Под ред. Каргина В.А. М.: Наука, 1973. С. 108.
8. Писманник К.Д., Орехов В.Д., Цетлин Б.Л. // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1981. Т. 26. № 4. С. 401.
9. Круль Л.П., Поликарпов А.П. // Успехи химии. 1990. Т. 59. № 5. С. 807.
10. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Твердое тело и полимеры. Прикладные аспекты. М.: Наука, 1987.
11. Иванов В.С. Радиационная химия полимеров. Л.: Химия, 1988. С. 127.
12. Woods R.J., Pikaev A.K. Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing. New York: Wiley, 1994. P. 317.
13. George Odian, Richard Henry, Raymond Koenig, D. Mangaraj, Le Doan Trung, Bou Chao, Arif Derman // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1975. V. 13. № 2. P. 623.
14. Kaya Imre, George Odian, Abdel Geward Rable // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1976. V. 14. № 9. P. 3045.
15. Круль Л.П. // Высокомолек. соед. Б. 1983. Т. 25. № 8. С. 607.
16. Круль Л.П., Поликарпов А.П., Бутовская Г.В. // Высокомолек. соед. Б. 1986. Т. 28. № 6. С. 419.
17. Бабкин И.Ю., Бурухин С.Б., Максимов А.Ф. // Высокомолек. соед. А. 1994. Т. 36. № 6. С. 964.
18. Бабкин И.Ю., Бурухин С.Б., Максимов А.Ф. // Химия высоких энергий. 1990. Т. 24. № 5. С. 429.
19. Бабкин И.Ю., Бурухин С.Б., Максимов А.Ф. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 21.
20. Бабкин И.Ю., Гордеев Ю.М., Китаев К.Н., Ковалев Б.А. // Высокомолек. соед. А. 1980. Т. 22. № 8. С. 1742.
21. Пилюгин В.В., Крицкая Д.А., Пономарев А.Н. // Высокомолек. соед. Б. 1993. Т. 35. № 1. С. 34.
22. Пилюгин В.В., Крицкая Д.А., Пономарев А.Н. // Высокомолек. соед. Б. 1993. Т. 35. № 1. С. 30.
23. Кабанов В.Я., Казимирова Н.М., Нестеренко А.А., Спицын Викт.И. // Высокомолек. соед. Б. 1968. Т. 10. № 11. С. 1968.
24. Сидорова Л.П., Алиев А.Д., Злобин Б.В., Чальх А.Е., Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. А. 1986. Т. 28. № 7. С. 163.
25. Никифоров А.М., Павлов С.А., Круль Л.П., Телешов Э.Н. // Докл. АН БССР. 1991. Т. 35. № 2. С. 163.
26. Бабкин И.Ю., Китаев К.Н., Ковалев К.Н., Сурнина Н.Н. // Пласт. массы. 1967. № 8. С. 13.

27. Круль Л.П. Гетерогенная структура и свойства привитых полимерных материалов. Минск: Университетское, 1986.
28. Дмитриенко А.В., Меш А.М., Серушкин М.И., Пуктанский М.Д., Агнивцева Т.Г., Корчагин А.Г., Иванчев С.С. // Высокомолек. соед. Б. 1993. Т. 35. № 6. С. 646.
29. Агамалян М.М., Евмененко Г.А., Бабкин И.Ю. // Высокомолек. соед. А. 1987. Т. 21. № 5. С. 418.
30. Агамалян М.М., Бабкин И.Ю., Бурухин С.Б., Евмененко Г.А. // Химия высоких энергий. 1987. Т. 21. № 5. С. 418.
31. Круль Л.П., Поликарпов А.П., Осипенко И.Ф. // Докл. АН БССР. 1983. Т. 27. № 9. С. 817.
32. Hoffman A.S., Cohn D., Hanson S.R., Harker L.A., Horbett T.A., Ratner B.D., Reynolds L.O. // Radiat. Phys. Chem. 1983. V. 22. № 1/2. P. 267.
33. Стырикович Н.М., Качекьян А.С., Никольский В.Г. // Высокомолек. соед. А. 1988. Т. 30. № 2. С. 249.
34. Yamakawa S., Yamamoto F., Kato Y. // Macromolecules. 1976. V. 9. № 3. P. 754.
35. Yamamoto F., Yamakawa S., Kato Y. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1978. V. 16. P. 1883.
36. Kaji K. // J. Appl. Polym. Sci. 1986. V. 32. № 4. P. 4405.
37. Babkin I.Yu., Burukhin S.B. // Radiat. Phys. Chem. 1988. V. 33. № 4 - 6. P. 599.
38. Бабкин И.Ю., Бурухин С.Б., Красногоров А.И. // Высокомолек. соед. А. 1985. Т. 27. № 8. С. 1703.
39. Бабкин И.Ю., Гордеев Ю.М., Китаев К.Н., Ковалев Б.А., Красногоров А.И. // Высокомолек. соед. А. 1979. Т. 21. № 4. С. 842.
40. Бабкин И.Ю., Гордеев Ю.М., Китаев К.Н., Попов Е.А. // Коллоид. журн. 1973. Т. 25. № 4. С. 627.
41. Рудой В.М., Сидорова Л.П., Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. А. 1988. Т. 30. № 2. С. 398.
42. Lavielle L., Schults J. // Bull. Sci. Chem. France. 1985. № 6. P. 1119.
43. Pekala W., Achmatowicz T., Kroh Y. // Radiat. Phys. Chem. 1986. V. 28. № 2. P. 173.
44. Hayakawa K., Kawase K., Iwasaki M. // Repts. Govt. Ind. Res. Inst. Nagoya. 1973. V. 22. № 11. P. 435.
45. Hayakawa K., Kawase K., Iwasaki M. // Textile Res. J. 1971. V. 41. № 5. P. 461.
46. Платэ Н.А., Алиева Е.Д., Калачев А.А. // Высокомолек. соед. А. 1981. Т. 23. № 3. С. 640.
47. Венгерова Н.С., Рудман А.Р., Эльцефон Б.С., Снегирева Н.С., Шилохвост В.П., Цивинская Л.К., Калюжная Р.И., Сидорова Л.П., Решетилова Т.И., Кабанов В.Я., Зезин А.Б. // Высокомолек. соед. А. 1983. Т. 25. № 6. С. 1245.
48. Jansen B., Ellinghorst G. // Radiat. Phys. Chem. 1981. V. 18. № 5/6. P. 1195.
49. Hoffman A.S., Ron Gomes-cusseres., Parfitt G.D. Addit. and Condens. Polymeriz. Proc. Advances in Chemistry Seris. Washington, 1969. P. 542.
50. Rather B.D., Weathersby P.K., Hoffman A.S., Kelly M.A., Scharpen L.N. // J. Appl. Polym. Sci. 1978. V. 22. № 2. P. 642.
51. Павлов С.А. Дис. ... д-ра хим. наук. М.: НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 1992.
52. Laizier J., Wajs G. Пат. 1170810 Англия. 1969.
53. Wajs G., Lenne W. Пат. 2240463 Франция. 1973.
54. Merrill E. Пат. 2208775 Франция. 1973.
55. Кочкодан В.М., Брык М.Т., Мchedlishvili Б.В., Житарюк Н.И. // Укр. хим. журн. 1987. Т. 53. № 1. С. 100.
56. Кочкодан В.М., Брык М.Т. // Докл. АН УССР. Б. 1986. № 8. С. 30.
57. Тищенко Г.А., Калюжная Л.М., Боярчук Ю.М., Афанакина Н.И., Кичигина Г.А., Кирюхин Д.П., Шатаева Л.К., Гольданский В.И. // Высокомолек. соед. А. 1991. Т. 33. № 10. С. 2144.
58. Zhitariuk N.I., Kuznetsov V.I., Shtanko N.I. // Environ. Prot. Eng. 1989. V. 15. № 3/4. P. 111.
59. Кренцель Б.А., Сладков А.М. // Вестн. АН СССР. 1966. № 8. С. 80.
60. Guimon C. // Radiat. Phys. Chem. 1979. V. 14. P. 841.
61. Кабанов В.Я., Казимирова Н.М., Спицын В.И. // Высокомолек. соед. А. 1968. Т. 10. № 3. С. 703.
62. Кабанов В.Я., Казимирова Н.М. // Высокомолек. соед. А. 1969. Т. 11. № 3. С. 222.
63. Кабанов В.Я., Спицын В.И. // Докл. АН СССР. 1973. Т. 210. № 3. С. 650.
64. Simpson J.T. // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 25. P. 483.
65. Yamakawa S., Yamamoto F. // J. Appl. Polym. Sci. 1980. V. 25. № 1. P. 25.
66. Куриленко Л.И., Александрова Л.Б., Сметанина Л.Б. // Высокомолек. соед. 1966. Т. 8. № 7. С. 1164.
67. Kamel I., Koczak M.J., Corneliussen R.D. // Appl. Polym. Symp. 1974. № 23. P. 157.
68. Сметанина Л.Б., Иванов Б.М., Перепелкин В.П., Гарбар Н.М., Новодережкина И.С. // Пласт. массы. 1976. № 8. С. 15.
69. Бабкин И.Ю., Красногоров А.И., Китаев К.Н. Структура и свойства поверхностных слоев полимеров. Киев: Наукова думка, 1972. С. 121.
70. Бабкин И.Ю., Гордеев Ю.М., Китаев К.Н., Ковалев Б.А., Ковалева А.Г., Красногоров А.И. // Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. по применению ускорителей в народном хозяйстве. Л., 1982. Т. 3. С. 195.
71. Файзи Н.Х., Бурухин С.Г., Плотников И.Ю., Бабкин И.Ю. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 284.
72. Иванов В.С., Погорелова М.М., Смирнова В.К. // Высокомолек. соед. Б. 1969. Т. 11. № 3. С. 187.
73. Иванов В.С., Харитонов Н.П., Смирнова В.К., Кротилов В.А. // Тр. IV Всесоюз. совещ. по жаростойким покрытиям. Л.: Наука, 1969.
74. Харитонов Н.П., Кротилов В.А., Иванов В.С., Смирнова В.К., Невержичская Э.С., Пулавский А.М., Гришина И.В. // Тр. совещ. "Химия и практическое применение кремнийорганических соединений". Л.: Химия, 1968.
75. Тимофеева В.Ф., Рябчикова Г.Г., Пикаев А.К., Спицын В.И. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1982. № 4. С. 881.

76. Шеменкова Л.В., Рябчикова Г.Г., Тимофеева В.Ф. // Каучук и резина. 1986. № 11. С. 23; 1987. № 2. С. 43.
77. Платэ Н.А., Васильев А.Е. Физиологически активные полимеры. М.: Химия, 1986. С. 283.
78. Полимеры медицинского назначения / Под ред. Сэноо Манабу. М.: Медицина, 1986. С. 198.
79. Полимеры медицинского назначения. Сб. Института нефтехимического синтеза АН СССР. М., 1988.
80. Доброва Н.Б., Карпинская В.М., Соколов Е.В., Смурова Е.В. // Проблемы гематологии и переливания крови. 1972. № 7. С. 53.
81. Севастьянов В.И., Лаксина Е.А., Новикова С.П., Розанова И.Б., Цейтлина Е.А., Шальнов Б.И. Обзорн. инф. "Медицина и здравоохранение". М.: Медицина, 1987. Вып. 2.
82. Смурова Е.В., Доброва Н.Б. Химия и технология высокомолекулярных соединений. М.: ВИНТИ, 1976. Т. 10. С. 30.
83. Платэ Н.А., Валувев Л.И. // Природа. 1981. № 6. С. 23.
84. Иорданский А.Л., Заиков Г.Е. // Успехи химии. 1983. Т. 25. № 3. С. 451.
85. Valuev L.I. // Polim. med. 1988. V. 18. № 3. P. 108.
86. Гумаргалиева К.З., Заиков Г.Е., Мусеев Ю.В. // Успехи химии. 1994. Т. 63. № 10. С. 922.
87. Баскова И.П. Химия нашими глазами. М.: Наука, 1981.
88. Rather B.D., Johnson A.B., Lenk T.J. // J. Biomed. Mater. Res. 1987. V. 21. № 1. P. 58.
89. Sevastianov V.I., Tseytлина E.A. // J. Biomed. Mater. Res. 1991. V. 25. № 2. P. 225.
90. Cohn D., Hoffman A., Rather B. // J. Appl. Polym. Sci. 1984. V. 29. № 8. P. 2645.
91. Ikada I., Suzuki M., Taniguchi M., Iwata H., Taki W., Miyake H., Yonekawa Y., Hauda H. // Radiat. Phys. Chem. 1981. V. 18. № 5/6. P. 1207.
92. Hayashi K., Murata K., Yamamoto N., Yamashita I. // Kobunshi rombunshu. 1985. V. 42. № 10. P. 617.
93. Homayounian S., Jendrychowska-Bonamour A.M. // Eur. Polym. J. 1981. V. 17. № 8. P. 851.
94. Hoffman A., Rather B. // Radiat. Phys. Chem. 1979. V. 14. № 3 - 6. P. 831.
95. Lee H.B., Shim H.S., Andrade J.D. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1972. V. 13. № 2. P. 729.
96. Праздникова И.Ю., Шифрина Р.Р., Павлов С.А., Брук М.А., Телешов Э.Н. // Высокомолек. соед. А. 1989. Т. 31. № 8. С. 1631.
97. Fischer J.P., Becker U., Sigmur-Peter von Halasz, Karl-Friedrich Muck, Puschner H., Rosinger S., Schmidt A., Suhr H. // J. Polym. Sci., Polym. Symp. 1979. V. 66. P. 443.
98. Postnikov V.A., Lukin N.Yu., Maslov B.V., Platé N.A. // Polym. Bull. 1980. V. 3. № 1/2. P. 75.
99. Грушевская Л.Н., Алиев Р.Э., Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. А. 1989. Т. 31. № 7. С. 1398.
100. Hoffman A.S., Rather B.D. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1979. V. 20. № 1. P. 423.
101. Rather B.D. // J. Biomed. Mater. Res. 1980. V. 14. № 5. P. 665.
102. Rather B.D., Hoffman A.S. // J. Appl. Polym. Sci. 1974. V. 18. № 11. P. 3183.
103. Chapiro A., Domurado D., Foex-Millequant M., Jendrychowska-Bonamour A.M. // Radiat. Phys. Chem. 1981. V. 18. № 5/6. P. 1203.
104. Chapiro A., Foex-Millequant M., Jendrychowska-Bonamour A.M., Lerke Y., Sadurni P. // Radiat. Phys. Chem. 1980. V. 15. № 2/3. P. 423.
105. Jansen B., Ellinghorst G. // Radiat. Phys. Chem. 1981. V. 18. № 5/6. P. 1195.
106. Jansen B., Ludwica A., Storz L.W. // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 25. № 4 - 6. P. 629.
107. Jansen B., Ellinghorst G. // J. Biomed. Mater. Res. 1985. V. 19. № 9. P. 1085.
108. Ha Hongfei, Pan Yingdong, Wu Juian., Yang Fuliang, Feng Xinde // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 25. № 4 - 6. P. 501.
109. Chapiro A., Lamothe M. // Eur. Polym. J. 1983. V. 19. № 12. P. 1117.
110. Chapiro F., Lamothe M. // Eur. Polym. J. 1983. V. 19. № 5. P. 367.
111. Razzak Mirzan T., Otsuhata K., Tabata Y. // J. Appl. Polym. Sci. 1987. V. 33. № 7. P. 2345.
112. Hayashi K., Fukumura H., Yamamoto N., Yamashita I. // Kobunshi rombunshu. 1987. V. 44. № 6. P. 429.
113. Jozefonvicz J., Szuburga A., Mandon P., Larrieu M. // J. Biomed. Mater. Res. 1977. V. 11. № 3. P. 317.
114. Otsuhita K., Razzak M.T., Castanares R.L., Tabata Y., Ohashi F., Takeuchi A. // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 25. № 4 - 6. P. 537.
115. Fuchrer J., Ellinghorst G. // J. Polym. Sci., Polym. Symp. 1979. V. 66. P. 475.
116. Hoffman A.S., Christopher H. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1972. V. 13. № 2. P. 740.
117. Ronel S.H., Abrahams R.A. // Soc. Plast. Eng. Tech. Papers. 1975. V. 21. P. 570.
118. Jansen B., Ellinghorst G. // J. Polym. Sci., Polym. Symp. 1979. V. 66. P. 465.
119. Ging-Ho Hsiue, Jen-Ming Yang, Ryh-Lih Wu // J. Biomed. Mater. Res. 1988. V. 25. № 5. P. 405.
120. Sanui Kohei, Agata Naoya, Kataoka Kazunori, Okano Teruo, Sakurai Yasuhisa // Kobunshi rombunshu. 1982. V. 39. № 4. P. 213.
121. Kabanov V.Ya., Sidorova L.P., Aliev R.E., Staroverova L.L. // Radiat. Proc. for Plastic and Rubber II Int. Conf. England: University of Kent at Canterbury, 1984. P. 23.4.
122. Lora S., Carenza M., Palma G., Caliceti P. // Radiat. Phys. Chem. 1990. V. 35. № 1 - 3. P. 117.
123. Yasuda H., Refojo M. // J. Polym. Sci. A. 1964. V. 2. № 12. P. 5093.
124. Laizier J., Wajs G. // Large Radiation Sources for Industr. Proc. Vienna, 1969. P. 20.
125. Chapiro A. // Eur. Polym. J. 1983. V. 19. № 10/11. P. 859.
126. Barrie James A. // Polymer. 1984. V. 25. № 8. P. 1157.
127. Chapiro A. // Int. Conf. "Radiat. Proc. Plast. and Rubber". Brighton, England, 1981. P. 21.1.
128. Hayashi K., Murata K. // Kobunshi rombunshu. 1982. V. 39. № 4. P. 179.
129. Muller-Schulte D., Horster F. // Polym. Bull. 1982. V. 7. № 2/3. P. 77.

130. Satoshi U., Hoffman A.S. // Radiat. Phys. Chem. 1988. V. 32. № 4. P. 605.
131. Rucinska A., Rosiak J., Pekala W. // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 24. № 5/6. P. 495.
132. Pekala W., Rosiak J., Rucinska-Rybue A., Burczak K., Galant S., Czolczynska T. // Radiat. Phys. Chem. 1986. V. 27. № 4. P. 275.
133. Ikada Y., Suzuki M., Tamada Y. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1983. V. 24. № 1. P. 19.
134. Затицян Л.Л., Часовников И.А., Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. Б. 1991. Т. 33. № 8. С. 565.
135. Грушевская Л.Л., Алиев Р.Э., Куриленко Л.Н., Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. Б. 1991. Т. 32. № 1. С. 38.
136. Peppas N.A., Micos A.G. // Hydrogels in Medicine and Pharmacy / Ed. by Peppas N.A. Boca Ration: CRC Press, 1987.
137. Платэ Н.А., Валуев Л.И., Чупов В.В. // Высокомолек. соед. А. 1980. Т. 22. № 9. С. 1963.
138. Hoffman A.S. // Radiat. Phys. Chem. 1977. V. 9. № 1 - 3. P. 210.
139. Jendrychowska-Bonamour A.M. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1983. V. 21. № 8. P. 2589.
140. Hoffman A.S., Schmer G., Harris C., Kraft W.G. // Trans. Am. Soc. Artif. Int. Organs. 1972. V. 18. P. 10.
141. Venkataraman S., Horbett T.A., Hoffman A.S. // J. Biomed. Mater. Res. Symp. 1977. V. 11. P. 111.
142. Hoffman A.S. // Radiat. Phys. Chem. 1981. V. 18. № 1/2. P. 323.
143. Platé N.A., Valuev L.I., Chupov V.V. // Pure and Appl. Chem. 1984. V. 56. № 10. P. 1351.
144. Platé N.A., Valuev L.I., Cumirova F.Kh. IUPAC Makro Mainz. 26th Int. Symp. Macromol. Mainz. Pupr. Short Commun. Mainz., 1979. V. 3. P. 1522.
145. Platé N.A. // Int. Union Pure and Appl. Chem. 28th Macromol. Symp. Amherst, 1982. S. 1. P. 385.
146. Platé N.A. // Polim. med. 1988. V. 18. № 3. P. 131.
147. Бурдыгина И.Ф., Чупов В.В., Валуев Л.И., Александрова Л.Б., Голубев В.Б., Платэ Н.А. // Высокомолек. соед. А. 1982. Т. 24. № 2. С. 372.
148. Бурдыгина И.Ф., Валуев Л.И., Чупов В.В., Платэ Н.А. // Высокомолек. соед. Б. 1982. Т. 24. № 11. С. 862.
149. Дегтярева Т.В., Кудрявцев Вал.Н., Алиев Р.Э., Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. А. 1991. Т. 33. № 9. С. 1913.
150. Платэ Н.А., Постников В.А., Лукин Н.Ю., Эйсмонт М.Ю., Грудкова Г. // Высокомолек. соед. А. 1982. Т. 24. № 11. С. 2326.
151. Платэ Н.А., Малых А.В., Ужинова Л.Д., Можая В.В. // Высокомолек. соед. А. 1989. Т. 31. № 1. С. 195.
152. Платэ Н.А., Малых А.В., Ужинова Л.Д., Панов В.П., Розенфельд М.А. // Высокомолек. соед. А. 1989. Т. 31. № 1. С. 198.
153. Платэ Н.А., Валуев Л.И., Чупов В.В. // Высокомолек. соед. А. 1980. Т. 22. № 9. С. 1963.
154. Valuev L.I., Chupov V.V., Platé N.A. // Makromol. Chem., Macromol. Symp. 1986. V. 4. P. 245.
155. Platé N.A. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1977. V. 18. № 1. P. 541.
156. Валуев Л.И. // Химия и технология высокомолекулярных соединений. М.: ВИНТИ, 1981. Т. 16. С. 168.
157. Platé N.A. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1977. V. 18. № 1. P. 541.
158. Basmadjian D., Sefton M.V. // J. Biomed. Mater. Res. 1983. V. 17. P. 509.
159. Валуев Л.И., Гумирова Ф.Х., Фрейдзон Я.С., Шибайев В.П., Платэ Н.А. // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265. № 2. С. 366.
160. Manecke G., Pohl R. // Makromol. Chem. 1978. B. 179. № 10. S. 2361.
161. Miyauchi Shinosuki, Ohnishi Shuji. // Kobushi Kagaku. 1972. V. 29. № 323. P. 207.
162. Шиманский С.М., Телешов Э.Н., Грицкова И.А. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 300.
163. Кабанов В.Я., Сидорова Л.П., Спицын Викт.И. // Докл. АН СССР. 1977. Т. 232. № 5. С. 1116.
164. Omichi H., Katakai A., Okamoto J. // J. Appl. Polym. Sci. 1989. V. 37. № 8. P. 2429.
165. Kumakura M. // High Polym. Japn. 1991. V. 40. № 5. P. 330.
166. Латыпов Т.Л., Юльчибаев А.А., Усманов Х.У. // Карбоцепные полимеры. М.: Наука, 1977. С. 109.
167. Garnett J.L., Jankiewicz S.V., Levot R., Sangster D.F. // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 25. № 4 - 6. P. 509.
168. Garnett J.L., Jankiewicz S.V., Long M.A., Sangster D.F. // Radiat. Phys. Chem. 1986. V. 27. № 4. P. 301.
169. Liddy Michael J., Garnett J.L., Kenyon Roberts S. // J. Polym. Sci., Polym. Symp. 1975. № 49. P. 109.
170. Leininger R.I., Epstein M.M., Falb R.D., Grode G.A. // Trans. Am. Soc. Artif. Int. Organs. 1966. V. 12. P. 155.
171. Leininger R.I., Cooper C.W., Falb R.D., Grode G.A. // Science. 1966. V. 152. P. 1625.
172. Wilson J.E. // J. Macromol. Sci., Chem. 1978. V. 12. № 2. P. 261.
173. Курбанов Ш.А., Хакимджанов Б.Ш., Мусаев У.Н., Новикова С.П., Смурова Е.В. // Высокомолек. соед. А. 1981. Т. 23. № 4. С. 744.
174. Miller M.L., Postal R.H., Sawyer P.N., Martin J.C., Kaplit M.J. // J. Appl. Polym. Sci. 1970. V. 14. № 1. P. 257.
175. Lundell E.O., Ryck J.S., Kwiatowski G.T., Osterholtz F.D., Creasy W.S., Stewart D.D. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1975. V. 16. № 2. P. 541.
176. Анненкова В.З., Доброва Н.Б., Анненкова В.М., Новикова С.П., Угрюмова Г.С., Романькова Н.П., Воронков М.Г. // Высокомолек. соед. Б. 1982. Т. 24. № 8. С. 619.
177. Silver J.H., Okkema A.T.Z., Josefowicz M., Cooper S.L. // 33rd IUPAC Int. Symp. Macromol. Book Abstrss. Montreal, 1990. P. 123.
178. Sharma Chandra P., Kallianakrishnan V., Valianthan M.S. // Polym. Plast. Technol. and Eng. 1982. V. 18. № 2. P. 233.
179. Снимицкова А.А., Власов А.В., Львов В.А., Цетлин Б.Л. // Высокомолек. соед. А. 1987. Т. 19. № 10. С. 2128.

180. Власов А.В., Кудрявцев Ю.П., Малахова Л.И., Сладков А.М., Цетлин Б.Л., Шаблыгин М.В. // Высокомолек. соед. Б. 1968. Т. 10. № 2. С. 97.
181. Carenza M., Lora S., Palma G., Caliceti P. 34th IUPAC Int. Symp. Macromol. Book Abstrs. Prague, 1992. S. 1. P. 408.
182. Hoffman A.S. // Proc. Conf. "Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology". Vienne: IAEA, 1982. P. 200.
183. Gombots W., Hoffman A., Schmer G., Ueneyama S. // Radiat. Phys. Chem. 1985. V. 25. № 4 - 6. P. 549.
184. Hoffman A., Gombots W., Ueneyama S., Dong L., Schmer G. // Radiat. Phys. Chem. 1986. V. 27. № 4. P. 265.
185. Alves da Silva M., Gie M., Guiomar J., Lapa E., Machado E., Horoira V., Guthrie J., Kotov S. // Radiat. Phys. Chem. 1990. V. 36. № 4. P. 586.
186. Beddows C., Gil M., Guthrie J. // J. Biotech. Bioeng. 1982. V. 24. № 6. P. 1371.
187. Ha Hongfei, Wang Guanghui, Wu Jilan. // Radiat. Phys. Chem. 1988. V. 31. № 4 - 6. P. 761.
188. Venkataraman S., Horbett T.A., Hoffman A.S. // J. Molec. Catal. 1977. V. 2. P. 273.
189. Fang Y., Shi T., Liu W., Shi F. // J. Macromol. Sci., Chem. 1990. V. 27. № 1. P. 117.
190. Gupta E.D., Tyagi P.K., Ray A.R., Singh H. // J. Macromol. Sci., Chem. 1990. V. 27. № 7. P. 831.
191. Kumakura Minoru, Kaetsu I. // J. Appl. Polym. Sci. 1983. V. 28. № 12. P. 3759.
192. Yamada Noriko, Okano Teruo, Sakai Hideaki, Karikusa Fumiko, Sawasaki Yoshio, Sakurai Yasuhisa // Makromol. Chem., Rapid. Commun. 1990. V. 11. № 11. P. 571.
193. Потапов В.К., Туркин С.И., Вейко В.М., Шабарова З.А., Прокофьев М.А. // Докл. АН СССР. 1978. Т. 241. № 6. С. 1352.
194. Rather B.D., Balisky T., Hoffman A.S. // J. Bioeng. 1977. V. 1. P. 115.
195. Goldberg E.P., Yahiaoui A., Hofmeister F., Martin P., Robinson R., Ito A., Stacholy J., Burns J., Yalon M., Osborn D., Kumar S. // Am. Chem. Soc., Polym. Prepr. 1990. V. 31. № 1. P. 216.
196. Ronel S.H., Abrahams R.A. // Soc. Plastics Eng. Tech. Papers. 1975. V. 21. P. 570.
197. Шункевич А.А., Сергеев Г.И., Елинсон И.С. // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1990. № 1. С. 64.
198. Ошеров А.И., Цыганков В.И., Елинсон И.С., Солдатов В.С. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 195.
199. Rao M.H., Rao K.N. // Polym. Bull. 1979. V. 1. P. 787.
200. Pugh C., Hsien Tou-vo // J. Appl. Polym. Sci. 1984. V. 29. № 2. P. 364.
201. Rao M.H., Rao K.N., Telin M.D., Log A.G., Lokhande H.T. // J. Appl. Polym. Sci. 1987. V. 33. № 10. P. 2743.
202. Rao M.N., Rao K.N., Lokhande H.T., Telin M.D. // J. Appl. Polym. Sci. 1987. V. 33. № 10. P. 2704.
203. Sundardi F., Ridman M., Ismining sin G., Utama M. // Radiat. Phys. Chem. 1981. V. 18. № 5/6. P. 1276.
204. Minova A., Ocadeik J., Pruzinec J. // J. Radioanal. Nucl. Chem. Lett. 1985. V. 94. P. 265.
205. Zurakowska-Orszagh J., Olejniczak H. // Polym. Twarz. Wielkocz. 1969. V. 14. P. 440.
206. Жуковский В.А., Коровичева С.Ю., Мухина Н.И., Блинова Е.И. // Тез. докл. науч.-техн. конф. по хим. волокнам и материалам на их основе. Л.: Наука, 1990. С. 111.
207. Mehta I.K., Sood D.S., Misra B.N. // J. Polym. Sci. A. 1989. V. 27. № 1. P. 53.
208. Misra B.N., Mehta I.K., Sood D.S. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1985. V. 23. № 5. P. 1749.
209. Kyoichi Saito, Takeo Yamaguchi, Kuzuya Uezu, Takano Sugo, Jiro Okamoto // J. Appl. Polym. Sci. 1990. V. 30. № 8. P. 2967.
210. Omichi H., Katakai A., Suyo T., Okamoto J. // Sep. Sci. Technol. 1985. V. 20. № 2. P. 163.
211. Omichi H., Katakai A., Sugo T., Okamoto J. // Sep. Sci. Technol. 1986. V. 21. № 3. P. 299.
212. Шевченко В.В., Пономарев А.Н., Ермолин А.Н., Тальрозе В.Л. // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. № 4. С. 920.
213. Шевченко В.В., Пономарев А.Н., Ермолин А.Н. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 295.
214. Kaur I., Misra B.N. // Desalination. 1987. V. 64. P. 271.
215. Набиева А.М., Мусаев У.Н., Курбанов М.А., Власов А.В., Цетлин Б.Л. // Химия и хим. технология. 1984. Т. 7. № 2. С. 235.
216. Kaur I., Barsova R. // J. Appl. Polym. Sci. 1990. V. 41. № 9. P. 2067.
217. Shinohara Y. // Sen-i Gakkaishi. 1962. V. 18. № 2. P. 485.
218. Медяк Г.В., Шункевич А.А., Солдатов В.С. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 166.
219. Дмитриенко А.В., Меш А.М., Замыслов Р.А. // Высокомолек. соед. А. 1990. Т. 32. № 3. С. 542.
220. Замыслов Р.А., Китаева Н.К., Добров И.В. // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по современным аспектам синтеза и производства ионообменных материалов. Черкассы, 1990. С. 34.
221. Пикаев А.К., Кабанов В.Я. // Химия высоких энергий. 1992. Т. 26. № 6. С. 554.
222. Okamoto J., Sugo T., Katakai A., Omichi H. // J. Appl. Polym. Sci. 1985. V. 30. № 8. P. 2967.
223. Yoshiaki K., Hiromitsu T., Hisanobu O. // Polym. J. 1990. V. 22. № 2. P. 179.
224. Yoshiaki K., Yasutaka S., Hisanobu O. // Radiat. Polym. 1991. V. 15. P. 253.
225. Takahiro H., Shunsaku K., Kazuhiko S., Nobuharu T., Manabu S., Takahuru I. // Ind. and Eng. Chem. Res. 1987. V. 26. № 10. P. 1970.
226. Лебедева И.А., Дружинина Т.В. // Журн. прикл. химии. 1992. Т. 65. № 11. С. 2565.
227. Герко В.И., Ермолин А.Н., Тарасенко В.А., Пономарев А.Н. // Тез. докл. Всесоюз. конф. по теоретической и прикладной радиационной химии. Обнинск, 1990. С. 57.
228. Цетлин Б.Л., Голубев В.Н. // Докл. АН СССР. 1971. Т. 201. № 4. С. 881.

229. Помогайло А.Д., Савостьянов В.С. // Металлосодержащие мономеры и полимеры на их основе. М.: Химия, 1988. С. 394.
230. Помогайло А.Д., Уфлянд И.Е. Макромолекулярные металлохелаты. М.: Химия, 1991.
231. Хартли Ф. Закрепленные металлокомплексы. Новое поколение катализаторов. М.: Мир, 1989. С. 69.
232. Помогайло А.Д. Полимерные иммобилизованные металлокомплексные катализаторы. М.: Наука, 1988. С. 303.
233. Помогайло А.Д. Катализ иммобилизованными комплексами. М.: Наука, 1991.
234. Крицкая Д.А., Помогайло А.Д., Пономарев А.Н., Дьячковский Ф.С. // Высокомолек. соед. А. 1979. Т. 21. № 5. С. 1107.
235. Савостьянов В.С., Крицкая Д.А., Пономарев А.Н. // Высокомолек. соед. А. 1985. Т. 27. № 1. С. 662.
236. Зубов В.П., Гарина Е.С., Корнильева В.Ф., Мاستерова М.Н., Кабанов В.А., Полак Л.С. // Высокомолек. соед. А. 1973. Т. 15. № 2. С. 100.
237. Помогайло А.Д., Крицкая Д.А., Луицкая А.П., Пономарев А.Н., Дьячковский Ф.С. // Докл. АН СССР. 1977. Т. 232. № 2. С. 391.
238. Barker H., Garnett J.L., Levot R., Long M.A. // J. Macromol. Sci., Chem. 1978. V. 12. № 2. P. 261.
239. Hartley F.R. // Brit. Polym. J. 1984. V. 16. P. 199.
240. Hartley F.R., McCaffrey D.J.A., Murray S.G., Nicholson P.N. // J. Organomet. Chem. 1981. V. 206. P. 347.
241. Hartley F.R., Murray S.G., Nicholson P.N. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. 1982. V. 20. P. 2395.
242. Yamakita H., Hayakawa K. // J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed. 1980. V. 18. № 8. P. 529.
243. Haruvy Y., Gratzel M., Rajbenbach L.A. // Radiat. Phys. Chem. 1988. V. 31. № 4 - 6. P. 843.
244. Савостьянов В.С., Помогайло А.Д., Крицкая А.Д., Пономарев А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1986. № 1. С. 42.
245. Савостьянов В.С., Помогайло А.Д., Крицкая А.Д., Пономарев А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1986. № 1. С. 45.
246. Савостьянов В.С., Помогайло А.Д., Крицкая А.Д., Пономарев А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1986. № 2. С. 353.
247. Уфлянд И.Е., Помогайло А.Д. // Успехи химии. 1991. Т. 60. № 7. С. 1544.
248. Uflyand I.E., Ilchenko I.A., Sheinker V.N. // React. Polym. 1991. V. 14. P. 41.
249. Ковбуз М.А., Фелицын Н.М., Дмитриенко А.В. // Коллоид. журн. 1994. Т. 56. № 2. С. 171.
250. Брук М.А., Павлов С.А. Полимеризация на поверхности твердых тел. М.: Химия, 1990.

Radiation-Induced Graft Polymerization as a Method for Surface Modification of Polymers

V. Ya. Kabanov

*Institute of Physical Chemistry, Russian Academy of Sciences
Leninskii Pr. 31, Moscow, 117915 Russia*

Abstract – This paper reviews the results of the studies on surface modification of various polymers by radiation-induced graft polymerization. Various promising fields of research, using radiation-induced graft polymerization for surface modification of polymers, are discussed. These areas involve regulation of the hydrophilic-hydrophobic and adhesive properties of a surface, preparation of polymeric adsorbents, surface modification of polymers for medical and biotechnological applications, and preparation of polymer carriers for catalysts. Most attention is paid to recent studies. Basic concepts, concerning the mechanism which controls the formation of modified surface layers, and the structure of these layers are considered.

Сдано в набор 24.02.95 г.

Офсетная печать

Подписано к печати 12.05.95 г.

Усл. печ. л. 24.0

Тираж 610 экз.

Усл. кр.-отт. 14,9 тыс. Уч.-изд. л. 23.7

Зак. 2579

Формат бумаги 60 × 88¹/₈

Бум. л. 12.0